

ПРОГЕОСЕТЬ — УПРАВЛЕНИЕ СЕТЯМИ ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩИХ ГНСС-СТАНЦИЙ

А.Л. Куренщиков (АО «НИИМА «Прогресс»)

В 1987 г. окончил механико-математический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности «математика». Работал в НЦПО «Вымпел», в РКС, в компании Ashtech и в ООО «Джавад Джи Эн Эс Эс». С 2023 г. работает в АО «НИИМА «Прогресс», в настоящее время — ведущий инженер-программист.

А.И. Разумовский (АО «НИИМА «Прогресс»)

В 1978 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономо-геодезия», в 1988 г. — факультет вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности «прикладная математика». После окончания МИИГАиК работал в ЦНИИГАиК, в компании Ashtech, в Институте точной механики и вычислительной техники им. С.А. Лебедева РАН и в ООО «Джавад Джи Эн Эс Эс». С 2022 г. работает в АО «НИИМА «Прогресс», в настоящее время — начальник отдела. Кандидат технических наук.

В.Г. Удинцев (АО «НИИМА «Прогресс»)

В 1982 г. окончил геологический факультет, отделение геофизики МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности «геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых». Работал в ИФЗ РАН, в КБ «Роспромбанк» и в ООО «Джавад Джи Эн Эс Эс». С 2022 г. работает в АО «НИИМА «Прогресс», в настоящее время — ведущий инженер-программист.

Современным методом высокоточных координатных определений с помощью спутниковых приемников геодезического класса является кинематика реального времени (RTK — Real Time Kinematic). Данные базовых станций передаются на приемник пользователя по мобильной связи с использованием сети Интернет. В повседневной практике пункты государственных геодезических сетей используются преимущественно для контроля полученных координат. Установка базового приемника в необорудованном месте на самом пункте встречается в геодезической практике реже.

Десятки постоянно действующих сетей ГНСС-станций обеспечивают потребности в определениях координат и навигации на значительной части

территории РФ, где ведется активная производственная и хозяйственная деятельность. В последние годы количество операторов сетей и размеры областей покрытия сервисом дифференциальных коррекций сократилось из-за прекращения действия лицензий на зарубежное программное обеспечение и нехватки специализированных спутниковых приемников для непрерывной работы в течение продолжительного времени.

Программный комплекс ПроГеоСеть предназначен для обеспечения полнофункциональной деятельности сетей станций дифференциальных коррекций. Он включает следующие модули:

- NTRIP caster;
- мониторинг базовых станций;

- сервис виртуальной станции VRS;

- базу данных систем координат.

Рассмотрим эти модули подробнее.

▼ NTRIP caster

Основные опции модуля NTRIP caster отражены на левой панели главного окна (рис. 1) и включают:

- личный кабинет, где происходит регистрация, авторизация, отображается актуальная информация о трафике данных и балансе денежных средств;

- карта постоянно действующих базовых станций;

- список кастеров, таблица подключений для выбора необходимой базовой станции;

- список подключенных спутниковых приемников;

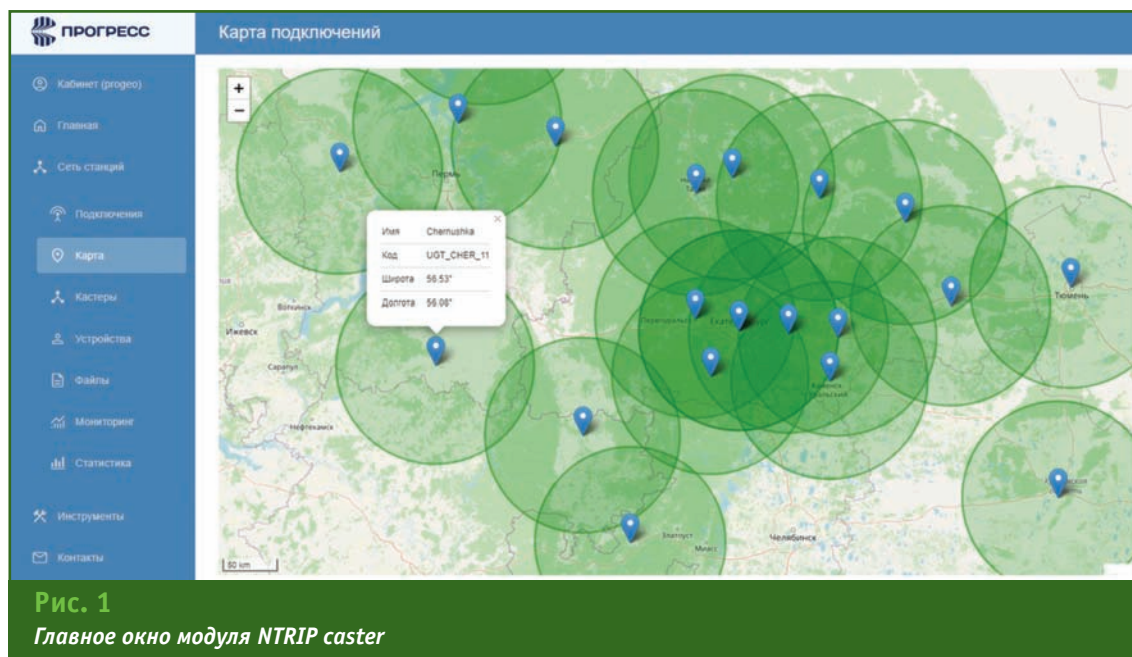


Рис. 1
Главное окно модуля NTRIP caster

— каталог файлов данных базовых станций в формате RTCM;

— статистики и графики мониторинга координат базовых станций.

В соответствии с правами пользователю предоставляется доступ к определенным опциям, кастерам и точкам подключения, а также возможность скачивания файлов исходных ГНСС-данных в форматах RTCM или RINEX 2.11–3.05. Предполагается хранение архива RTCM данных в течение длительного времени.

NTRIP caster — Интернет-сервис передачи информации от базовых станций потребителям. Его основные характеристики:

- Web-интерфейс управления;
- версии под Linux и Windows;
- NTRIP-протокол версии 2;
- передача данных в форматах RTCM и MSM по защищенному подключению;
- администрирование потоков и пользователей;
- биллинг подключений по пользователям и базовым станциям;
- масштабирование сетей.

Масштабирование подразумевает возможность добавления сторонних приемников к уже существующим сетям базовых станций на условиях бизнес-соглашения. Координаты добавленных пунктов определяются с помощью программы постобработки ГНСС-данных ПроГеоОфис на основе длительных сеансов спутниковых наблюдений.

▼ Мониторинг базовых станций

Задачи мониторинга:

- контроль полноты данных и присутствия помех радиосигналом;
- обработка базовых линий в режиме реального времени;
- фиксация взаимных смещений пунктов сети;
- определение скоростей.

Контроль поступающей на сервер информации необходим для своевременного выявления отключений или проблем функционирования базовых станций, прогноза периодичности радиопомех от внешних устройств. Первичный контроль качества данных, отбраковка грубых измерений улучшают точность и оперативность расчета метеопараметров и позво-

ляют сохранить непрерывность пространственного поля корректирующей информации при изменениях конфигурации сети и временного графика ухудшения качества данных на отдельных станциях.

Расчет векторов сети базовых станций, выполняемый в режиме реального времени по эпохам в кинематическом режиме, необходим для своевременного выявления неблагополучных станций. Оптимальная конфигурация геодезической сети задается путем предварительных испытаний и настройки сценария обработки.

Среднесрочные характеристики качества данных и возможных смещений пунктов, на которых установлены антенны базовых ГНСС, осуществляется путем регулярной, один раз в четыре часа, постобработки векторов и уравнивания сети. На основе χ^2 -теста уравнивания и t -теста для ребер сети формируется отчет о функциональности сети за рассматриваемый промежуток времени. Архив отчетов (рис. 2) сохраняется на сервере.

Из рис. 2, где приведена информация по обработке векторов различной протяженно-

Distance, km	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00
110	5	2	6	1	2	3	6	4	0	0	1	2	8	1	3	2	0	1	3	5	41	61	0	10	35	4	65	2	105	106
35	2	1	1	1	3	4	2	2	2	1	0	2	6	0	0	4	0	2	1	4	2	4	3	7	50	2	202	2	2	12
59	2	5	7	2	5	2	2	0	1	5	1	4	1	8	0	13	3	0	1	3	1	4	3	5	125	6	429	8	8	48
36	0	4	3	3	2	6	3	3	1	3	2	1	1	1	2	3	0	0	2	3	41	7	1	1	15	1	86	1	92	3
97	0	4	5	116	0	5	10	2	212	337	1	9	2	3	13	178	1	4	14	54	5	13	0	11	155	266	60	174	218	91
55	4	17	117	3	36	19	3	8	8	13	1	1	3	17	4	27	5	16	35	6	139	136	204	21	399	233	739	106	134	30
71	1	6	6	3	2	2	4	6	6	1	1	1	0	2	3	1	2	7	1	3	38	9	2	2	80	0	106	1	90	5
67	5	4	3	2	4	0	5	0	1	1	1	0	8	0	2	1	1	3	0	6	0	0	3	7	20	3	36	1	7	1
73	2	4	2	4	15	2	10	6	0	2	6	10	70	2	6	72	3	0	3	0	72	6	3	10	1	189	95	130	22	90
81	0	7	12	1	41	1	6	6	150	2	5	15	9	2	3	1	24	4	1	9	0	19	5	0	40	10	185	168	153	3

Рис. 2
3D отклонения (мм) координ базовых станция относительно исходных

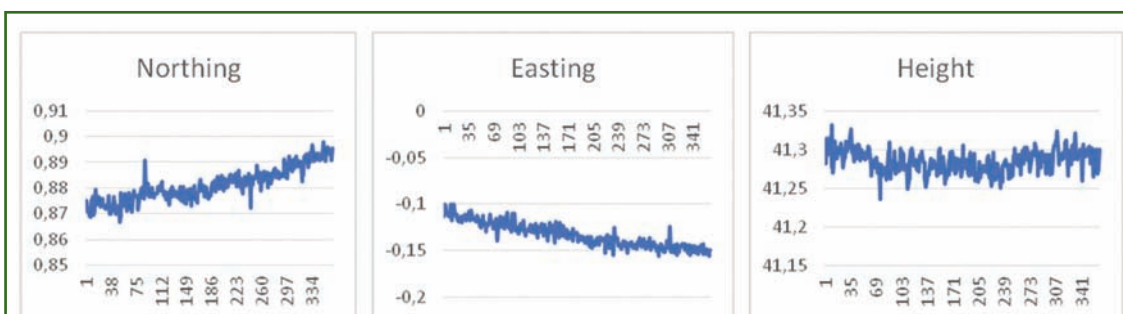


Рис. 3
Отклонения dN, dE, dH в метрах от каталога NGS

сти московской сети за одни сутки, видно, что максимальные отклонения координат от исходных, полученные в результате уравнивания геодезической сети, в большей степени зависят от времени суток, чем от расстояния. Для данных, собранных в ночное и раннее утреннее время в московском регионе, сильно ухудшается точность определения координат по причине резкого возрастания интерференции радиосигналов. Более полно информация представлена на сайте АО «НИИМА «Прогресс» — <https://spo.progeo.expert/monitoringsolstat>.

Ежедневно, по мере доступности данных о точных координатах и часах спутников, по методу PPP (Precise Point

Positioning) в системе координат ITRF2014 проводится вычисление координат станций московской сети, у которых отмечается наиболее устойчивый прием радиосигнала. Такие станции сети используются в качестве опорных при уравнивании. Алгоритм расчета абсолютных координат был проверен на сети CORS US.

Десять пунктов были выбраны случайным образом на территории штата Калифорния (США), где наблюдается высокая тектоническая активность (рис. 3). Период, для которого были проведены вычисления координат, охватывает 365 дней 2023 года. В качестве примера в табл. 1 приведены вычисленные значения трех пунктов из

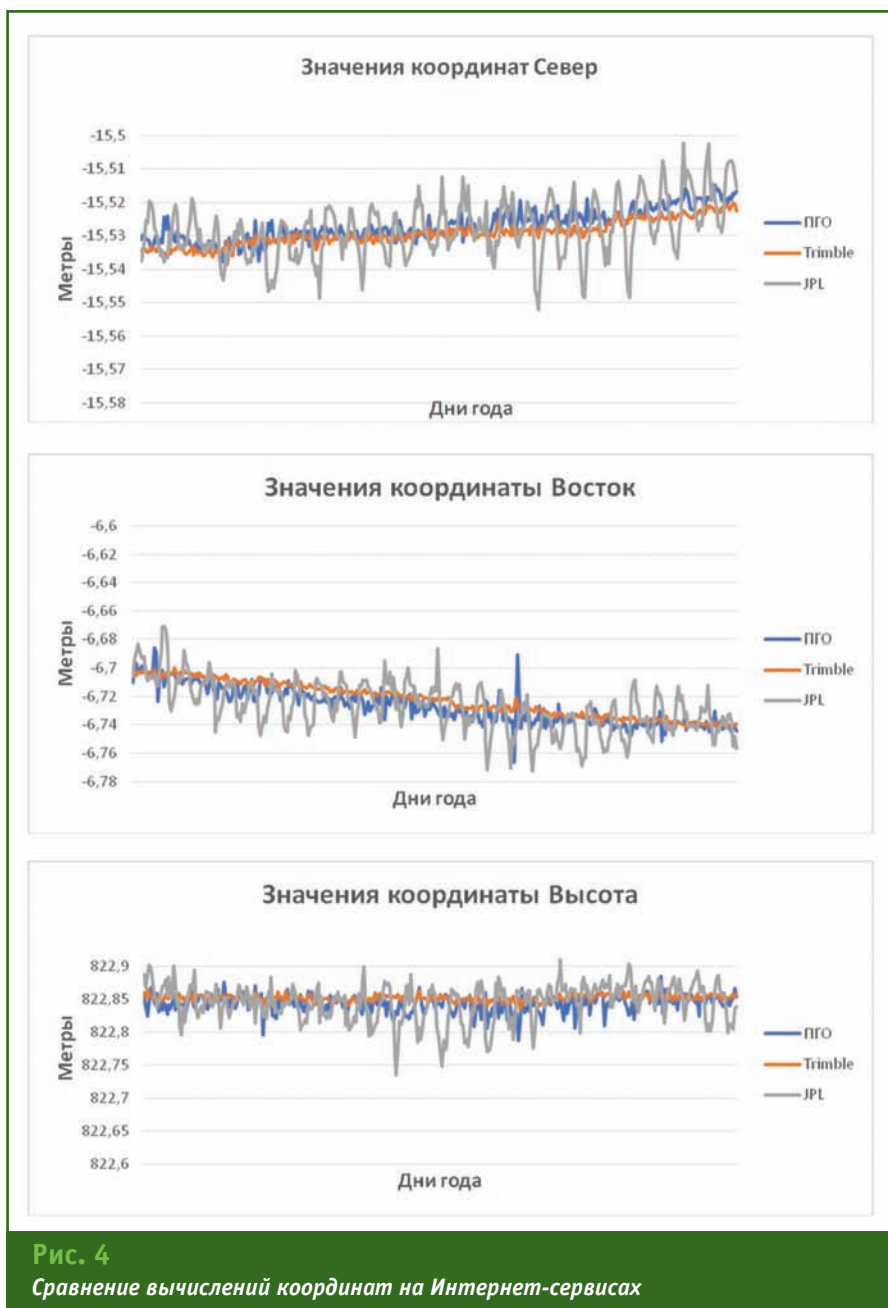
десяти. Как видно из таблицы, результаты хорошо согласуются с паспортными данными этих пунктов, приведенными в каталоге NGS.

Достоверность и точность расчета абсолютных координат также исследовались путем сравнения результатов обработки ГНСС-данных по методу PPP для пунктов московского региона на сервисах Прогео (ПГО), Trimble и JPL (рис. 4).

На примере одного из пунктов видно, что наибольшую точность определения координат предоставляет сервис Trimble, что может быть обусловлено использованием дополнительных данных о температуре, давлении и влажности атмосферы, предоставляемыми собственными спутниками.

Тем не менее, подтверждает, что сервис Прогео позволяет достаточно точно определять общеземные координаты. Предполагается создание региональных моделей скоростей пунктов на территории РФ. С ин-

Значения отклонений трех пунктов		Таблица 1		
Пункт	R066	P277	P523	
NGS	-32, +27, +13	-25, +33, +19	-29, +31, +20	
Прогео	-33, +23, +12	-29, +29, +18	-30, +31, +17	



формацией по мониторингу пунктов некоторых российских сетей можно ознакомиться по ссылкам: <https://spo.progeo.expert/monitoringsolstat> и <https://spo.progeo.expert/monitoringppstat>.

▼ Сервис виртуальной станции VRS

Данные базовых станций обрабатываются в режиме реального времени с целью определения ионосферных и тропосферных задержек радиосигналов, которые используются для

построения пространственных метеополей в технологиях NRTK(VRS), FKP, MAX. К сожалению, в российской геодезической практике эти передовые и необходимые разработки оказались в значительной степени скомпрометированными по причине непрофессиональной организации работы базовых станций на территории РФ: установка спутниковых приемников, не предназначенных для этой цели, отсутствие мониторинга, использование лишь

малой части возможностей сервисов Trimble, Leica, Javad.

Влияние внешних условий, в первую очередь ионосферы, превышающее половину длины волны фазовых измерений, составляющей ~20 см, не позволяет быстро и надежно вычислять целочисленные неоднозначности фазовых измерений в режиме RTK. Как показывает опыт стран Северной Европы и Скандинавии, современные сетевые сервисы, определяющие метеокоррекции, помогают получать за относительно короткое время (менее 15 секунд) точные координаты определяемых точек при удалении от базовых станций свыше 100 км. Виртуальная станция создается на расстоянии нескольких метров от полевого приемника, поэтому алгоритм RTK игнорирует самостоятельное вычисление ионосферных и тропосферных поправок. Из-за меньшего количества неизвестных и, соответственно, размера ковариационной матрицы фильтра Калмана, алгоритм работает более устойчиво, выше вероятность получения достоверного фиксированного решения в неблагоприятных условиях городской застройки или под густыми кронами деревьев.

В настоящее время в программном комплексе ПроГеоСеть реализована технология VRS.

В качестве примера рассмотрим результаты определения координат антенны Javad GrAnt-G5T приемника SinoGNSS K803 на крыше здания АО «НИИМА «Прогресс» относительно трех пунктов сети: Софрино (Московская область), Балабаново (Калужская область), Домодедово (Московская область) (рис. 5). Взаимные расстояния между пунктами варьируются от 75 до 131 км. Ближайший пункт — Софрино — находится на расстоянии 39 км. Используя эту базовую станцию, можно за несколько минут получить

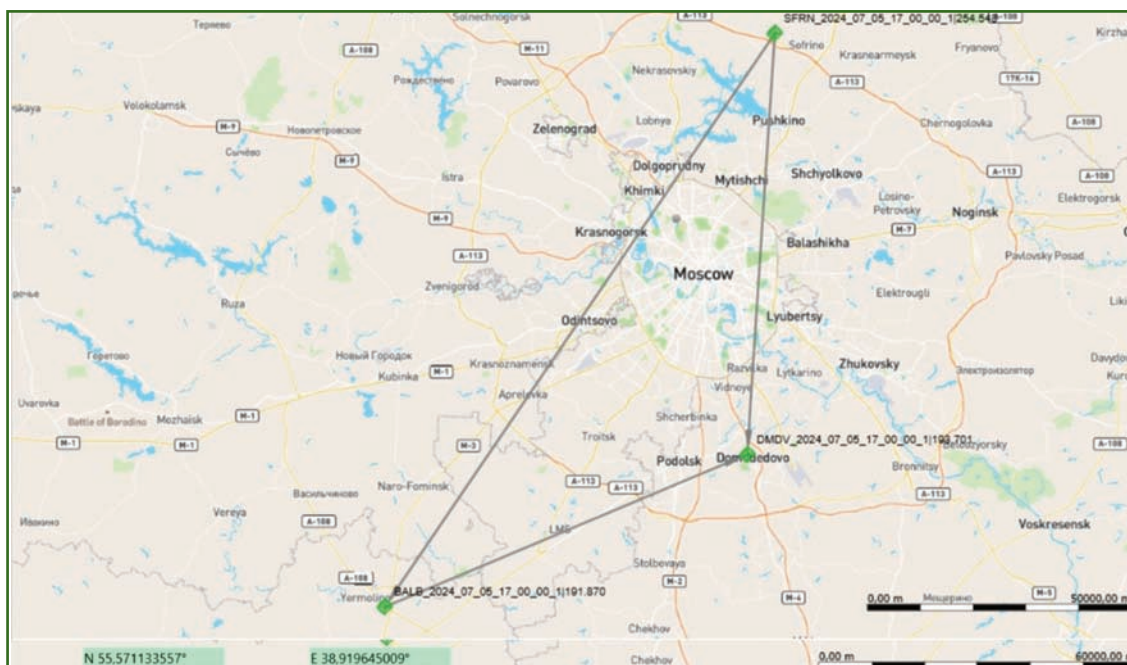


Рис. 5
Схема кластера VRS сети

Сравнение работы в режиме RTK от реальных базовых станций и VRS **Таблица 2**

Время	Балабаново	Домодедово, % *	Софрино, % *	VRS, % *
13.07.2024 11:00	0.00	0.00	71.00	94.28
13.07.2024 12:00	0.00	0.00	43.51	92.25
13.07.2024 13:00	0.00	12.60	98.90	93.08
13.07.2024 14:00	0.00	8.29	99.77	99.47
13.07.2024 15:00	0.00	1.63	45.29	94.92
13.07.2024 16:00	0.00	0.0	99.46	87.33
13.07.2024 17:00	0.00	0.0	76.77	73.98
13.07.2024 18:00	0.00	18.97	47.43	48.13

Примечание. * Процент фиксированных решений.

точное фиксированное решение. Работа в режиме RTK относительно других базовых станций практически невозможна.

В качестве начального узла расчета виртуальной базы выбрана станция сети Софрино. Условия приема на пункте АО «НИИМА «Прогресс» неблагоприятные. В непосредственной близости ведется строительство высотного здания, часто проявляется интерференция и переотражения сигналов ГНСС. Из табл. 2 видно, что в период проведения теста использова-

ние технологии VRS имеет преимущество перед работой непосредственно от базовых станций. Однако, положительный эффект сильно зависит от уровня помех на каждом из пунктов кластера, что вносит дополнительные риски использования.

Использование отечественной программной разработки Прогео для обеспечения работы сервисов RTK на территории РФ имеет приоритетное значение. В последние годы было обнаружено значительное количество реестровых ошибок, обуслов-

ленных трудностями освоения зарубежных ГНСС-технологий, недостаточной технической поддержкой компаний-производителей и дилеров на ранних этапах деятельности компаний-провайдеров сервиса. Устранение ошибок, также как и координация сервисов различных операторов и обеспечение их устойчивого развития на современном уровне, являются задачами программного комплекса ПрогеоСеть.

Техническая поддержка осуществляется квалифицированными специалистами.